

ANTENAS FRACTALES MICROSTRIP IMPRESAS EN ESPONJAS METALIZABLES

Jaume Anguera^(1,2), Jean-Pierre Daniel⁽³⁾, Carmen Borja⁽¹⁾,
Josep Mumbrú⁽¹⁾, Carles Puente⁽¹⁾, Cristina Picher⁽¹⁾, Tiphaine Leduc⁽³⁾, Peter Van Roy⁽⁴⁾
jaume.anguera@fractus.com, jean-pierre.daniel@advanten.fr, pvanroy@eu.eccosorb.com

⁽¹⁾ Departamento de Tecnología y Propiedad Intelectual, Fractus, Barcelona, Spain

⁽²⁾ Departamento de Electrónica y Comunicaciones. Universitat Ramon Llull, Barcelona, Spain

⁽³⁾ Advanten, Rennes, France

⁽⁴⁾ Emerson & Cuming Microwave Products, Nijverheidsstraat, Westerlo, Belgium

Abstract- Radiating elements are usually made of metallic materials which increase the antenna complexity and weight. In order to solve this drawback, an antenna manufacture process using metallized foams is presented. A microstrip patch antenna inspired in the fractal Koch island geometry embedded in a rectangular cavity is built and tested. Results of reflection coefficient and directivity versus frequency have been compared with simulated data resulting in very good agreement. All the metallic parts of the antenna (patch, cavity, and feeding probe) have been metallized on the foam resulting in a low weight, low complexity, and low cost antenna structure.

I. INTRODUCCIÓN

Las antenas constan básicamente de elementos metálicos especialmente en frecuencias bajas (VHF, UHF) y estructuras metalo-dieléctricas (antenas impresas) por encima de 1GHz. Unido a la antena se encuentra el sistema de alimentación el cual a su vez puede ser metálico o impreso. En consecuencia, el sistema radiante resulta en una estructura compleja en cuanto a diseño mecánico y peso elevado con el aumento de coste que esto supone. Como alternativa a los procesos de fabricación clásicos encontramos la tecnología de esponjas metalizables la cual permite diseñar [1-6]:

- Sistemas radiantes de poco peso y bajo coste
- Estructuras planas y conformadas
- Estructuras geométricas complejas como las fractales
- Metamateriales

La tecnología de esponjas metalizables se ha investigado en el marco del proyecto Europeo Mefista (MEtallized Foams In low coST Antennas) el cual ha enfocado parte de sus investigaciones en aplicar dicha tecnología para fabricar una antena microstrip en cavidad inspirada en la geometría fractal. Los fractales autosimilares y otras estructuras relacionadas son interesantes debido a sus propiedades multifrecuencia, capacidad de miniaturización, diseño de antenas directivas, agrupaciones con lóbulos bajos y agrupaciones submuestreadas [6-21].

La comunicación presenta en la sección II las propiedades de la esponja. En la sección III se explica el proceso de fabricación. La sección IV muestra los resultados de una antena parche fabricada mediante la tecnología de esponja metalizable y finalmente en la sección V se exponen las conclusiones.

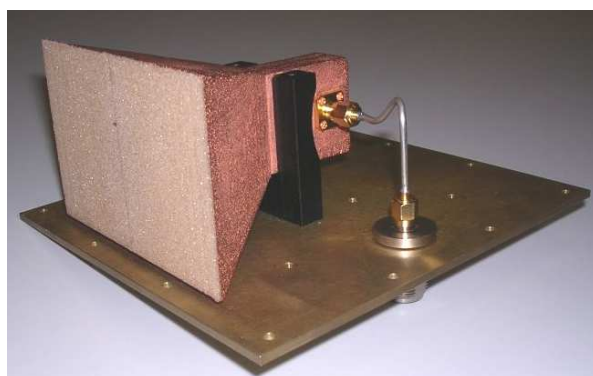


Fig. 1. Ejemplo de bocina construida mediante esponja metalizable. Frecuencia de operación 5.9GHz. Peso de la antena-esponja=54gr.

II. MATERIAL

El material utilizado para construir la antena se trata de una esponja rígida de constante dieléctrica muy baja $\epsilon_r=1.29$ y $\tan\delta=0.004$ en el margen de frecuencias (1-5GHz). Los materiales con baja constante dieléctrica se obtienen con una distribución controlada de aire en un polímero. Los detalles para la fabricación de la esponja se pueden encontrar en [6].

III. PROCESO DE FABRICACIÓN

De forma simplificada el proceso de fabricación de una esponja metalizada consiste en la inmersión de la esponja en diversas soluciones químicas (Fig. 2). Básicamente el proceso se divide en: lavado de la superficie de la esponja, sensibilización de la esponja y deposición de una capa fina de cobre mediante electrólisis siendo el grosor unas tres veces la profundidad de penetración. Dado que la esponja es fácil de tratar mecánicamente, se puede obtener vías metalizadas si previamente se ha practicado los orificios en la esponja (Fig. 3). Es interesante resaltar que la esponja utilizada basada en PVC es resistente a los efectos de la humedad con lo cual la propia esponja puede servir de encapsulado de la antena ahorrando por tanto la inclusión de un radomo que añade peso y complejidad al sistema radiante. Una vez se ha obtenido la estructura 3D de la esponja completamente metalizada, se procede al proceso de eliminación mediante *milling* (Fig. 4).



Fig. 2. Sistema automático de deposición de cobre ubicada en el laboratorio de Advanten. El brazo desplaza la esponja a través de diversas soluciones químicas



Fig. 3. Ejemplo de vías metalizadas de diversos tamaños las cuales pueden servir como puntos de excitación de antenas parche bien como cortocircuitos en antenas tipo PIFA



Fig. 4. Antena microstrip en cavidad inspirada en el fractal de Koch consumida sobre esponja metalizable. El parche se excita mediante una vía metalizada como el ejemplo de la Fig. 3. La densidad de la esponja es de 0.229gr/cm³.

IV. DISEÑO DE ANTENA

Se ha simulado, fabricado y medido una antena microstrip inspirada en el fractal isla de Koch. Con el objetivo de demostrar el potencial de la tecnología de esponjas metalizables, el parche está inmerso en una cavidad con paredes en forma de L invertida teniendo una altura que es la misma que la del parche. El parche se excita mediante una vía que está también metalizada. En definitiva, el parche, el

dieléctrico que lo sustenta, la cavidad y la alimentación están contruidos en una pieza siendo el conector la única pieza independiente para excitar el parche. Finalmente, se coloca un radomo el cual consiste en una esponja dispuesta justo por encima del parche resultando de esta forma una estructura muy compacta, de poco peso y una complejidad mucho menor comparado con procesos tradicionales [6].

Para validar la tecnología de esponja metalizable, se simula la antena mediante MoM utilizando el paquete IE3D (Fig. 5). El objetivo es comparar las simulaciones con las medidas para determinar que el proceso de fabricación sea correcto. Por ejemplo, si en el proceso de fabricación de la esponja existiese una densidad de burbujas de aire no uniforme, esto conllevaría a una constante dieléctrica inhomogénea que podría causar asimetrías en los diagramas de radiación. Para tal efecto, se ha adaptado el parche en su modo fundamental si bien el estudio se extiende a modos superiores con el objetivo de evaluar el proceso en un margen amplio de frecuencias (1-5GHz). Es interesante destacar que una de las razones por haber elegido el parche inspirado en la isla de Koch es debido a la existencia de modos localizados en modos superiores (modos fractinos) [6,8,9,16-18]. Estos modos presentan áreas con un campo elevado de forma muy localizada y radiando de forma coherente. De esta manera se obtiene un diagrama directivo en la dirección *broadside* lo cual resulta atractivo para el diseño de antenas pico-celda como por ejemplo *hot-spots* WIFI u otras aplicaciones.

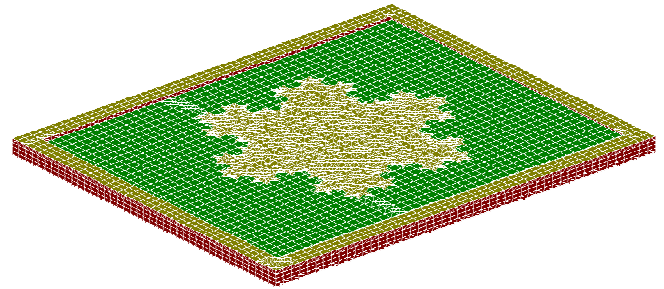


Fig. 5. Parche fractal de Koch situado a 8mm sobre el plano de masa. El tiempo de computación teniendo en cuenta dieléctrico finito es de 5910seg/frecuencia con Pentium 3GHz y 3GB de RAM

El primer parámetro a comparar es el coeficiente de reflexión desde 0.8 a 5GHz donde se observa una buena semejanza salvando un ligero desplazamiento alrededor de 4.1GHz (Fig. 6).

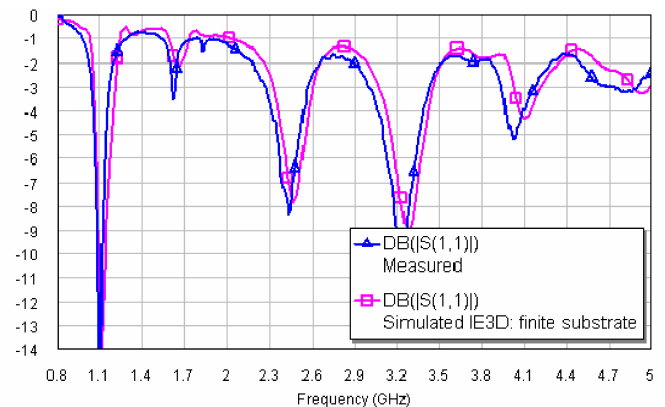


Fig. 6. Comparación del coeficiente de reflexión simulado y medido

Para considerar el diagrama de radiación, la antena se mide en cámara Satimo Stargate-32 (Fig. 7). Se compara la directividad simulada y la medida. La correlación entre ambos es elevada lo que indica que el proceso de fabricación no presenta ninguna anomalía perceptible en el margen de frecuencias analizado (Fig. 8).

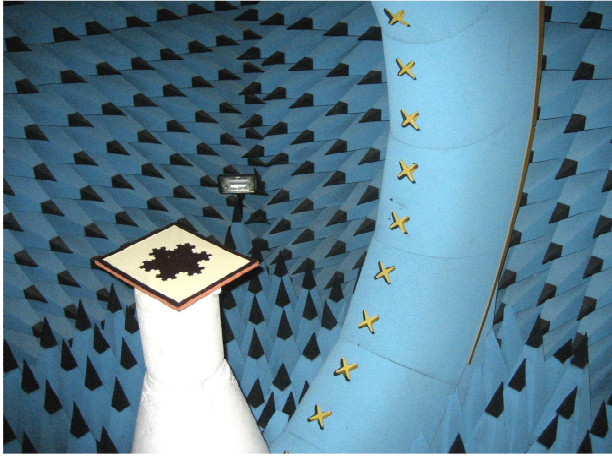


Fig. 7. Antena en cámara Satimo Star-Gate 32 ubicada en el laboratorio de Fractus

La eficiencia de la estructura se determina mediante la medida de la eficiencia de radiación la cual se calcula mediante integración del diagrama de radiación 3D. A partir de la eficiencia total η_t y la adaptación (S_{11}) se calcula la eficiencia de radiación como: $\eta_r = \eta_t / (1 - |S_{11}|^2)$. Los valores de eficiencia de radiación obtenidos por la antena impresa en la esponja son los estimados mediante simulación con lo que la tangente de pérdidas medida de la esponja resulta ser válida en el margen de frecuencias analizado (Fig. 9).

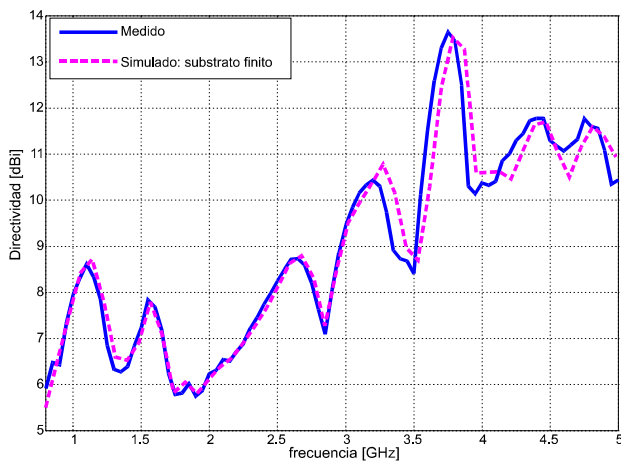


Fig. 8. Simulación y medida de la directividad

frecuencia [GHz]	η_r simulada [%]	η_r medida [%]	Error [dB]
1.102	89.0	76.8	0.64
2.447	87.9	82.5	0.27
3.242	80.1	82.4	-0.12
4.044	64.4	72.2	-0.49
4.807	67.5	72.8	-0.33

Fig. 9. Comparación eficiencia de radiación simulación-medida

Es interesante comprobar el comportamiento de la antena en el modo localizado o modo fractino el cual se encuentra en

$f=3.75\text{GHz}$. La distribución de corrientes sobre el parche indica 6 zonas localizadas de radiación coherente que provocan un diagrama directivo en la dirección *broadside* (Fig. 10). Los cortes del diagrama en plano E ($\phi=90^\circ$) y H($\phi=0^\circ$) muestran por un lado un máximo en la dirección *broadside* y una correlación elevada con la simulación corroborando una vez más que el proceso de fabricación ha sido correcto (Fig. 11).

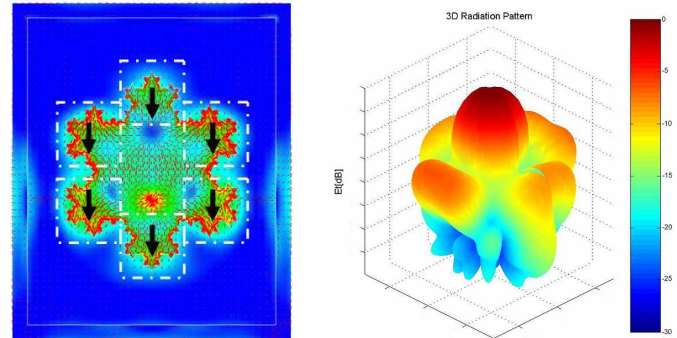


Fig. 10. Simulación de la distribución de corrientes y medida del diagrama en el modo fractino $f=3.75\text{GHz}$ con directividad $D=13.8\text{dB}$

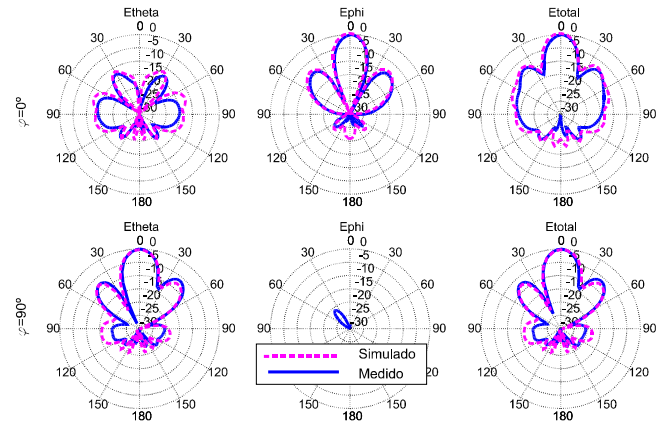


Fig. 11. Cortes simulados y medidos en el modo fractino $f=3.75\text{GHz}$

El radomo de la antena es una esponja adicional tal y como ilustra la Fig. 12. Los efectos del radomo son un ligero desplazamiento de la resonancia a frecuencias inferiores con prácticamente la misma eficiencia dado la baja tangente de pérdidas de la esponja [6].

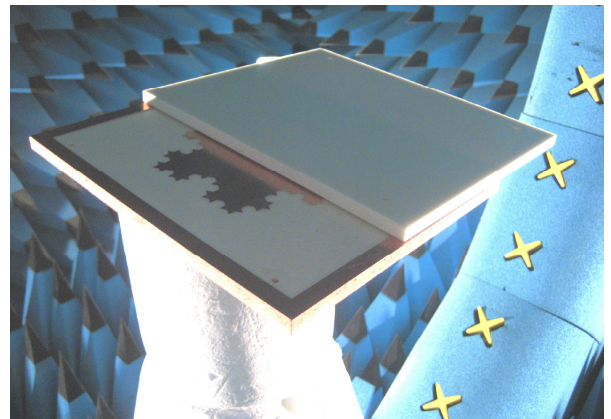


Fig. 12. Detalle de los planos de masa utilizados en los cuatro prototipos implementados [6]

V. CONCLUSIONES

Se ha construido mediante tecnología de esponjas metalizables un parche microstrip inmerso en una cavidad. Se ha comparado el coeficiente de reflexión y la directividad en un amplio margen de frecuencias (1GHz-5GHz) encontrando una gran correlación entre simulación y medidas, validando de esta forma el proceso de fabricación.

El número de piezas necesarias para construir la antena es mucho menor que el utilizado mediante un proceso estándar (Tabla 1).

Con esto, la tecnología de esponja metalizada no sólo resulta en un proceso de bajo coste sino también en un sistema radiante muy ligero. En caso necesario, la esponja permite un proceso de soldadura para incluir una red de adaptación discreta o algún otro mecanismo activo (diodos, transistores, MEMS, etc).

Con esta tecnología es posible una nueva generación de antenas de bajo coste, poco peso, alta capacidad de integración y buenas prestaciones.

PARTE	LISTA DE MATERIALES	
	Solución antena con procesos convencionales	Solución antena con tecnología esponja
Substrato	Aire	La propia esponja
Elemento radiante	Impreso en dieléctrico o realizado mediante chapa de aluminio	Impreso directamente en la esponja
Plano de masa	Chapa aluminio de cierto grosor para dar consistencia (3mm)	Metalizado directamente en esponja ($\approx 30\mu\text{m}$)
Espaciadores	Cilindros nylon, PVC o similar para sujetar el parche	No son necesarios
Alimentación	Es necesario insertar un hilo conductor para excitar el parche	Vía metalizada en la propia esponja
Conector	Conector SMA	Conector SMA
Cavidad	4 aletas en forma de L invertida (necesita doblado) Necesita sujeción al plano de masa (ej.: remaches)	Impresa directamente en la esponja
Radomo	Pieza conformada de ABS sujeta al plano de masa	Una esponja superior
Peso estimado	430gr.	102gr.

Tabla 1. Lista de materiales para la construcción de la antena fractal mediante proceso convencional y tecnología de esponja metalizable

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido subvencionado por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

A la administración Eurípides.

Al ministerio francés de Economía, Finanzas e Industria

REFERENCIAS

- [1] J-P Daniel, H Havot, K Sayegrih, "Antenna Developments using Polymers and Metallized Foam", *2nd European Conference on Antennas and Propagation*, EuCAP'07, Edinburgh, UK.
- [2] French patent n° 98 08182 "Procédé de revêtement de mousse pour la fabrication d'éléments d'antennes".
- [3] French patent n° 04 02510 "Dispositif de perturbation de la propagation d'ondes électromagnétiques, procédé de fabrication et application correspondants".
- [4] P.Ratajczak, P.Y.Garel, F.Gadot, A. de Lustrac, H. Boutayeb, K. Mahdjoubi, A.C.Tarot, J.P.Daniel, K.Sayegrih, "An adaptative beam steering antenna using a controllable EBG material for a GSM, DCS, and UMTS base station" *13th international days in Nice*, JINA 2004, Nice France, 8-10 November 2004 (this paper won the JINA's Award in 2004)
- [5] H.Boutayeb, J.P.Daniel, F.Gadot, P.Y.Garel, A. de Lustrac, K. Mahdjoubi, P. Ratajczak, K.Sayegrih, A.C. Tarot, "New beam steering base station antenna using EBG material" *2004 International Symposium Antennas and Propagation*, ISAP'04, Sendai, Japan, 17-21 August 2004
- [6] J.Anguera, J.P.Daniel, C.Borja, J.Mumbrú, C.Puente, T.Leduc, N.Laeveren, P.Van Roy, "Metallized Foams for Fractal-Shaped Microstrip Antennas", *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol.50, n°6, Dec2008, pp.20-38
- [7] C.Puente, "Fractal antennas", Ph.D. Dissertation at the Dept. of Signal Theory and Communications, Universitat Politècnica de Catalunya, 1997
- [8] C.Borja, "Fractal microstrip patch antennas with fractal perimeter and self-affine properties" Ph.D. Dissertation at the Dept. of Signal Theory and Communications, Universitat Politècnica de Catalunya, 2001
- [9] J.Anguera, "Fractal and Broadband Techniques on Miniature, Multifrequency, and High-Directivity Microstrip Patch Antennas", Ph.D.

Dissertation at the Dept. of Signal Theory and Communications, Universitat Politècnica de Catalunya, 2003

- [10] J.Anguera, E.Martínez, C.Puente, E.Rozan, "The fractal Hilbert monopole: A two-dimensional wire", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol.36, n°2, January 2003, pp. 102-104.
- [11] J.Anguera, C.Puente, C.Borja, and J.Soler, "Fractal-Shaped Antennas: a Review". *Wiley Encyclopedia of RF and Microwave Engineering*, vol.2, 2005, pp.1620-1635.
- [12] J.Anguera, E.Martínez, C.Puente, C.Borja, and J.Soler, "BroadBand Dual-Frequency Microstrip Patch Antenna With Modified Sierpinski Fractal Geometry", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol.52, n°1, pp.66-73, 2004.
- [13] Patent app. WO 01/22528
- [14] Patent app. WO 2004/010535
- [15] Patent app. WO 99/57784
- [16] B.Sapoval, Th.Gobron, and A.Margolina, "Vibrations of fractal drums". *The American Physical Soc.*, 67(21), Nov. 1991, pp. 2974-2977
- [17] J.Anguera, C.Puente, C.Borja, R.Montero, and J.Soler, "Small and High Directivity Bowtie Patch Antenna based on the Sierpinski Fractal", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol.31, n°3, November 2001, pp.239-241.
- [18] J.Anguera, G.Montesinos, C.Puente, C.Borja, and J.Soler, "An Under-Sampled High Directivity Microstrip Patch Array with a Reduced Number of Radiating elements Inspired on the Sierpinski Fractal", *Microwave and Opt. Tech. Letters*, vol.37, n°2, April 2003, pp.100-103.
- [19] J.Anguera, E.Martínez, C.Puente, C.Borja, and J.Soler, "Broad-Band Triple-Frequency Microstrip Patch Radiator Combining a Dual-Band Modified Sierpinski Fractal and a Monoband Antenna", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol.54, n°11, November 2006, pp.3367-3373.
- [20] J.Anguera, C.Puente, C.Borja, and J.Soler, "Dual Frequency BroadBand Stacked Microstrip Antenna Using a Reactive Loading and a Fractal-Shaped Radiating Edge", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters* vol.6, 2007, pp. 309-312.
- [21] J.Anguera, C.Borja C.Puente, "Microstrip Fractal-Shaped Antennas: a review", *2nd European Conference on Antennas and Propagation*, EuCAP'07, Edinburgh, UK.